Primeros resultados de la puesta a punto de una técnica de medida de sensibilidad retiniana durante la adaptación temprana

JA. Aparicio[1], BM. Matesanz[1], I. Arranz[1], JG. Vizmanos[1], JA. Menéndez[2], S. Mar[1], L. Issolio[3]

[1]Departamento de Óptica, Universidad de Valladolid
[2]Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Valladolid
[3]Departamento de Luminotecnia Luz y Visión, Universidad de Tucumán Argentina

El objetivo del presente trabajo es mostrar los primeros resultados de la puesta a punto de una técnica de medida de sensibilidad retiniana antes, durante y después de un cambio en la luminancia de adaptación retiniana. Dichos resultados son los primeros obtenidos en esta línea de investigación por el Grupo de Iluminación y Visión de la Universidad de Valladolid y representan el punto de partida de una investigación sobre el comportamiento de las distintas zonas de la retina ante cambios bruscos en la iluminación ambiental. El objetivo final de esta línea de investigación es, no sólo ahondar en el conocimiento básico de los procesos de adaptación neuronal, sino disponer de herramientas alternativas en la predicción de patologías retinianas de polo posterior.

The aim of this work is to show and describe the first results of a new technique designed to measure the foveal retinal sensitivity before, during and after a variation in the adapting retinal luminance. These results are the first ones obtained in this research by the Illumination and Vision Group of the University of Valladolid and represent the starting point of a new research area of this group in the field of the behaviour of retina when sudden changes in retinal illumination are produced. This research finally aims not only to get a deeper insight in the basis of retinal adaptation mechanisms but also to offer an alternative technique to predict retinal pathologies, particularly those in posterior chamber.

Palabras clave: Adaptación retiniana, Umbrales de luminancia

Introducción

Según datos de la Organización Mundial de la Salud, en los países desarrollados o en vías de desarrollo, el 1% de la población padece problemas graves de visión. Según estos datos y de acuerdo a un estudio realizado por el Instituto Nacional de Estadística en 1986 (el más actualizado en España) había en ese año en este país, unas 485.000 personas con Baja Visión. Estas cifras (aunque no se dispone de datos objetivos contrastados) son muchos mayores en los países no desarrollados. Según un estudio clínico realizado recientemente en este país[1], más del 50% de los casos de pacientes que presentan baja agudeza visual y/o campo visual reducido (condiciones que de forma simultánea o independiente caracterizan la Baja Visión), presentan patologías retinianas o con afectación retiniana, entre las que caben destacar la dege-

Correspondencia
JA. Aparicio
Departamento de Óptica
Universidad de Valladolid
P. Prado de la Magdalena s/n
47071 Valladolid
Tel.: 983 423 267
apa@opt.uva.es

neración macular asociada a la edad (DMAE), las retinosis o el glaucoma. Del conjunto de patologías que producen Baja Visión, más del 80% de los casos se presentan en sujetos mayores de 50 años y más del 41% en sujetos mayores de 73 años. La edad representa, de alguna forma, un claro factor de riesgo. Muchas de estas enfermedades no presentan síntomas claramente aparentes al paciente en sus primeros estadios, lo que da lugar a que las primeras manifestaciones perceptibles por el paciente ya estén asociadas a daños retinianos más o menos graves, pero normalmente irreparables, dificultando la medicina preventiva y haciendo ineficaces los tratamientos tempranos.

Por otro lado, una de las características que hacen del sistema visual humano algo singular es su gran sensibilidad retiniana, es decir, su habilidad de adaptarse a ambientes luminosos cuya luminancia varía hasta en un factor 10^8, manteniendo una capacidad casi constante de detectar pequeñas variaciones de luminancia en el campo visual. Sin embargo, es un hecho bien constatado en la literatura[2-4] que dicha capacidad, medida usualmente como contraste umbral detectable, se reduce en presencia de cambios bruscos de la luminancia ambiental para, transcurrido un cierto tiempo, habitualmente corto, volver a recuperar sus valores normales. Los resultados obtenidos no dependen tanto de si el deslumbramiento provocado es directo o indirecto[4] como de si es estacionario o transitorio. En este segundo caso la pérdida en la capacidad de detectar contrastes es sensiblemente mayor que en el primero.

Este hecho ha servido para complementar[5] teorías previas que afirmaban que la pérdida de sensibilidad al contraste y de la consiguiente capacidad de detectar objetos se debía exclusivamente a efectos de *scattering* ocular, poniendo de manifiesto que hay ciertos procesos, especialmente aquellos vinculados a transitorios en la luminosidad retiniana, que dan lugar a pérdidas de sensibilidad al contraste ligadas a la saturación de los transductores neuronales[6,7,8].

La pérdida de la sensibilidad retiniana ante deslumbramientos transitorios incapacitantes puede ser uno de los primeros y más incipientes indicios de muchas de las patologías de polo ocular posterior que desembocan en Baja Visión. Sin embargo, aunque existen trabajos antiguos en los que se ha analizado la respuesta temporal de la sensibilidad retiniana foveal[9,10] y extrafoveal[11] ante dichos deslumbramientos transitorios, todos ellos corresponden a sujetos normales y ocularmente sanos, de modo que, ni existe un patrón de normalidad en función de la edad, ni mucho menos se conoce como pueden ser dichas respuestas en presencia de distintas patologías y de sus distintos estadios de evolución.

Son escasos y parciales los estudios que intentan evaluar las capacidades visuales tras deslumbramientos discapacitantes transitorios en personas mayores, cuando es bien sabido que son ellos los que en mayor medida sufren dichas pérdidas. Los estudios existentes[12,13] sobre este tipo de población se centran precisamente en la recuperación de las funciones visuales en experimentos de simulación en conducción nocturna, donde los faros de los coches que circulan en sentido opuesto al del conductor o aquellos de los vehículos situados tras él en la carretera generan de forma más ostensible dichos efectos discapacitantes. Dichos estudios no abordan ni la influencia de la iluminación deslumbrante ni el tiempo que dura el pulso deslumbrante de luz, lo cual dificulta la comprensión fisiológica del fenómeno. Los efectos sobre la visión foveal son, en prácticamente todos los casos, los que suscitan la atención de los investigadores. Muy poco existe en el terreno de la recuperación de las capacidades visuales extrafoveales[4,11], aunque es sabido que la mayor parte de las respuestas ante estímulos peligrosos, así como la eficacia en la movilidad de una persona, requieren una correcta capacidad de detección de indicativos visuales periféricos. De nuevo, los trabajos existentes se centran en la evaluación de dichos efectos sobre personas jóvenes, permaneciendo sin publicar hasta la fecha trabajos similares en personas mayores y mucho menos en discapacitados visuales.

En resumen, aunque están bastante bien establecidos los criterios y métodos de estudio de los tiempos de recuperación de las capacidades visuales frente a deslumbramientos transitorios, no existe un patrón definido de cómo y en qué medida se producen dichas pérdidas en función de la edad ni en visión foveal ni extrafoveal, ni existe un análisis de dicha pérdida en términos del tamaño o contraste de los objetos que se proponen como patrón de detección.

El objetivo del presente trabajo es presentar una técnica de medida de la evolución temporal de la sensibilidad retiniana ante cambios bruscos en su iluminación, así como los primeros resultados obtenidos con ella, resultados que, no siendo novedosos bibliográficamente hablando, representan por su comparación con trabajos previos, una validación de la técnica propuesta.

Método

Dispositivo experimental

Un esquema general del montaje realizado se muestra en la figura 1. Una lámpara incandescente S (Laes 50 W), alimentada a 4 A con una fuente estabilizada, ilumina un dispositivo de doble haz. El haz que atraviesa el separador BS1 hace el papel de haz de adaptación, mientras que el que se refleja en dicho separador, juega el papel de haz

OO.OO. 231

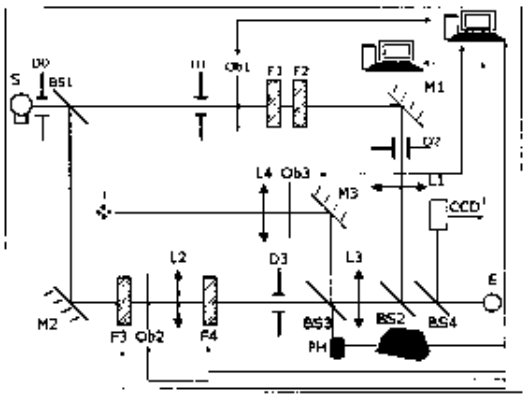

Fig. 1. Dispositivo experimental.

señal. Ambos son espacialmente mezclados por el separador BS2. La luminancia de cada uno de los haces puede ser atenuada hasta en un factor 1.000 mediante los filtros neutros F1 y F2 para el haz de adaptación y F3 y F4 para el haz señal. En ambos casos el paso mínimo de densidad óptica es de 0.1 unidades logaritmicas. La densidad óptica en el caso del haz señal es controlable por ordenador. Dos obturadores Ob1 y Ob2, controlados asimismo por ordenador establecen en qué momento los haces son visibles por el ojo E del observador. Pruebas previas realizadas sobre dichos obturadores permitan estimar el error en su apertura o cierre en menos de 1.5 ms. Las lentes L2 y L3 para el haz señal y L1 para el haz de adaptación forman imágenes de muy similar tamaño del filamento S en la pupila de entrada del observador con el fin de eliminar los efectos de los cambios en el tamaño pupilar. Los diafragmas D2 y D3, situados respectivamente en los planos focales objeto de L1 y de L3 determinan los campos angulares retinianos iluminados. La evolución temporal de los pulsos luminosos enviados al ojo se registra por medio de un fotodiodo y un osciloscopio conectado al ordenador.

El observador está sujeto a la mesa por medio de un mordedor y la fijación visual se realiza con la ayuda de un test T, un esquema del cual se muestra en la figura 2. Como se aprecia en dicha figura, el test está formado por cuatro puntos luminosos siendo el tamaño angular horizontal o vertical de 45 minutos de arco. La lente L4 forma una imagen de dicho test en el plano focal objeto de L3. Finalmente, diodos infrarrojos (830 nm) iluminan el ojo del observador, de modo que una cámara CCD conectada a un segundo ordenador permite visualizar en todo momento la pupila y medir su tamaño.

Metodología y medidas realizadas

Todas las medidas se realizaron en condiciones de oscuridad, habiendo estado los sujetos adaptados a dicha situación durante un período no inferior a 20 minutos. Cualquier luz parásita dentro de la habitación fue previamente apantallada. Los sujetos elegidos, dos de los autores de este trabajo (IA y BMM) fueron previamente emetropizados de modo que no existiera residuo refractivo alguno. Todas las medidas fueron monoculares, realizadas en ambos casos sobre los ojos derechos de los individuos con los respectivos ojos izquierdos ocluidos. La secuencia de trabajo para cada medida fue la siguiente. Primero se muestra el test de fijación visual durante 1 segundo, medio segundo después de cerrar Ob3, se muestran el haz de adaptación y el haz señal. Tomando como referencia la figura 3, ejemplo de la señal registrada por el fotodiodo, los tiempos t1 y t2 considerados en este experimento fueron respectivamente 500 ms y 40 ms, siendo Δt el tiempo que transcurre entre el inicio del haz de adaptación y el inicio del haz señal, pudiendo éste ser positivo, negativo o cero en el caso de que Ob1 y Ob2 se abran simultáneamente. Si con las condiciones del haz de adaptación elegidas el haz señal no es detectado por el observador, se reduce la densidad de los filtros del haz señal en 0.1 unidades logarítmicas y se repite la secuencia. Entre cada dos secuencias transcurren 30 segundos, tiempo estimado suficiente para que la retina recupere su estado inicial. La combinación de una técnica de escalera creciente y otra decreciente permite determinar por promedio la luminancia umbral L_u del haz señal para un valor dado de la luminancia del haz de adaptación y para distintos valores de Δt, así como una estimación del error. Los campos angulares subtendidos por el haz señal y de adaptación fueron en este experimento de 30 minutos y 1° respectivamente. La luminancia del haz de adaptación fue medida con un lumi-

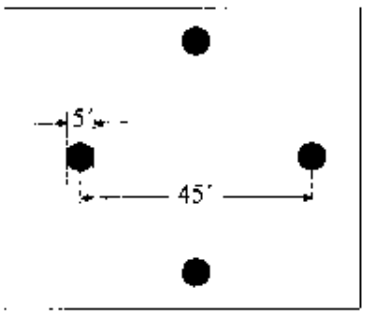

Fig. 2. Esquema del test de fijación visual.

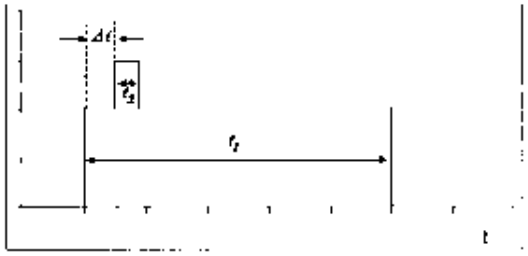

Fig. 3. Representación temporal de los pulsos luminosos enviados al ojo: t_1 representa la duración del pulso de adaptación y t_2 la del haz señal.

nancímetro Spectra-Pritchard 1980A y para este experimento fue de 24 cd/m².

Resultados

Los resultados de la evolución temporal de la sensibilidad foveal se muestran en la figura 4. Dicha evolución se representa en términos de la variación del logaritmo de la luminancia umbral detectable L_u en función del intervalo Δt transcurrido entre el inicio del haz de adaptación y el inicio del haz señal. Los resultados, muy similares para los dos observadores, muestran un incremento de dicho umbral antes incluso del inicio del haz de adaptación ($\Delta t = 0$), aspecto ya observado por Crawford[14] y estudiado posteriormente con mayor detalle por otros autores. Más recientemente Pokorny[15] atribuyó dicho efecto a la mediación del sistema magnocelular quien haría llegar la información del haz señal (corto y acromático) al cerebro antes que la del haz de adaptación (más duradero y también acromático).

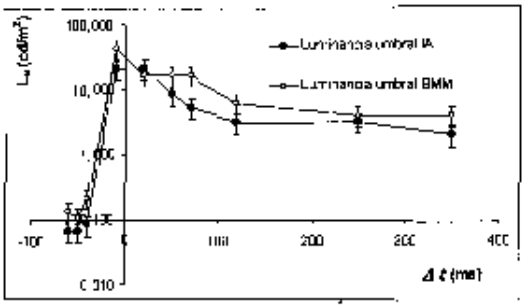

Fig. 4. Evolución temporal de la sensibilidad umbral L_u para los dos observadores estudiados.

Asimismo, como se observa en la figura 4, el incremento del umbral de luminancia detectable es particularmente notable durante el inicio del haz de adaptación, como ya también fue observado por Boynton[16]. De hecho es reseñable que en nuestros resultados la relación entre la luminancia del haz de adaptación y el pico de luminancia umbral es prácticamente la unidad, tal y como se observa en el trabajo de Boynton, lo cual da una idea de la gran fiabilidad de los resultados de este trabajo y, por tanto, del dispositivo experimental desarrollado.

Conclusiones

Se ha puesto a punto un dispositivo experimental orientado hacia la medida de la evolución temporal de la sensibilidad retiniana foveal, capaz de apreciar las variaciones que sufre la luminancia umbral detectable en los primeros momentos de la adaptación retiniana a un cambio de iluminación. Con mínimas modificaciones sobre el montaje aquí descrito, este dispositivo, complejo en su concepción, será capaz de analizar dichas variaciones con resolución retiniana de medio grado y con resolución temporal del orden del milisegundo. Este dispositivo ha permitido obtener, como aquí se ha descrito, primeros resultados completamente de acuerdo con lo descrito en la bibliografía clásica, pero también en la más actual y representará, a nuestro juicio, no sólo una herramienta muy útil para entender los mecanismos básicos de adaptación neuronal, sino también un potencial instrumento clínico en la prescripción precoz de patologías retinianas de polo posterior y en su evaluación en función del tiempo.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a S. González por su colaboración en el diseño del montaje experimental, así como la financiación aportada por la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León (VA090A08) y el Ministerio de Educación y Ciencia (FIS2005/05451). D. Juan A. Aparicio desea expresar su personal agradecimiento a la ONCE por la ayuda prestada.

Bibliografía

1. Montalt Rodrigo JC, Gene Sampedro A, Hernández Andrés MR, Soler Torregrosa E. Estudio Epidemiológico en Baja Visión y tratamiento. Franja Visual 1998;9(41):7- 10.

2. Hood D. C. and Finkelstein M. A., Sensitivity to light. Wiley. New York. 1986.

3. Graham N, Hood DC. Modeling the dynamics of light adaptation: the merging of two traditions. Vis Res 1992;32:1373-1393.

4. Bichao IC, Yager D, Meng T. Disability glare: effects of temporal characteristics of the glare source and of the visual-field location of the test stimulus. J Opt Soc Am A 1995;12(10):2252-2258

5. Van den Berg TJTP. On the relation between glare and straylight. Documenta Ophthalmologica 1991;78:177-181.

6. Nakayama K, Silverman GH. Detection and discrimination of sinusoidal grating displacements. J Opt Soc Am A 1985; 2(2): 267-274.

7. Barraza JF, Colombo EM. The time course of the lower threshold of motion during rapid events of adaptation. Vis Res 2001;41:1139-1144.

8. Wüthrich S., Schmid M., Lüthy W. A. R. and Weber H. P., Recovery time of the human eye after exposure to laser light, Proceedings of Visual Information Processing VI, SPIE Aero Sense, Orlando, USA, 1997, pp. 02.12.2004.

9. Finkelstein MA, Hood D C. Cone system saturation: more than one stage of sensitivity loss. Vis Res 1981;21:319-328.

10. Hayhoe MM, Benimoff NI, Hood DC. The time-course of multiplicative and subtractive adaptation process. Vis Res 1987;27:1981-1996.

11. Adelson EH. Saturation and adaptation in the rod system. Vis Res 1982;22:1299-1312.

12. Anderson SJ, Holliday IE. Night driving: effects of glare from vehicle headlights on motion perception. Ophthal Physiol Opt 1995;15:545-551.

13. Collins M, Brown B. Glare recovery and its relation to other clinical findings in age related maculopathy. Clin Vis Sci 1989;4:155-163.

14. Crawford BH. Visual adaptation in relation to brief conditioning stimuli Proc Roy Soc B 1947:134:283-302.

15. Pokorny J, Sun VCW, Smith V C. Temporal dynamics of early light adaptation. J Vision 2003;3:423-431.

16. Boynton RM, Bush E, Enoch J. Rapid changes in foveal sensitivity resulting from direct and indi rect adapting stimuli. JOSA 1954;44:56-60.